

省合金型高強度はだ焼鋼 ECOMAX (エコマックス)

“ECOMAX “ low alloy high strength carburizing steel

1. はじめに

近年、CO₂排出量削減や燃費向上を目的として、自動車部品の小型・軽量化ニーズがますます高まっており、とりわけ駆動系部品の主要素材であるはだ焼鋼にも高強度化が強く求められている。本製品の狙いは小型・軽量化の点からギヤをダウンサイジングした場合でも、ギヤへの負荷増に耐えることであり、特に最近指向されている低粘度潤滑環境下においてもギヤ歯面の耐ピッチング強度が低下しないことに力点を置いている。

はだ焼鋼の高強度化には一般的にNiやMoといった合金元素を添加する手法が用いられているが、これら合金元素の添加は、部品製造時における加工性劣化や、鋼材価格上昇などの問題を引き起こす。さらに近年では、合金元素の価格の不安定性や将来的な資源枯渇などが問題となっており、価格変動が少なく供給不安や調達リスクの少ない合金元素を選定して高強度化を行うことが求められている。

このような背景の中、NiやMoに頼ることなく、Si、Cr、Mnを主体とする成分設計により、高強度で且つ加工性にも優れた省合金型の高強度はだ焼鋼ECOMAX (エコマックス)を開発したので以下に諸特性を紹介する。

2. ECOMAXの特徴

2.1. 化学成分ならびに焼入性

表1にECOMAXの化学成分をJIS SCM420Hと併せて示す。耐ピッチング特性向上のため^{1, 2, 3)} Siを0.5%とし、Si

と同様に焼戻軟化抵抗を向上させるCrを2.1%に増量した。Mnは結晶粒度特性の向上⁴⁾、ならびに加工性確保の観点から低減した。衝撃値及び低サイクル曲げ疲労強度の向上を図るためにBを微量添加^{5, 6)}し、結晶粒度特性改善のためにNbも添加している。

図1に狙い組成のECOMAXのジョミニー曲線ならびにSCM420Hのジョミニー幅を示す。ECOMAXの曲線は水冷端からの距離30mm付近までSCM420Hのジョミニー幅内に位置することから、SCM420Hを使用していた部品サイズに概ね適用可能なレベルである。

表1 ECOMAXの狙いとSCM420Hの代表的な化学成分 (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	他
ECOMAX	0.16	0.5	0.3	2.1	—	—	Nb, B添加
SCM420H	0.20	0.3	0.8	1.1	—	0.2	-

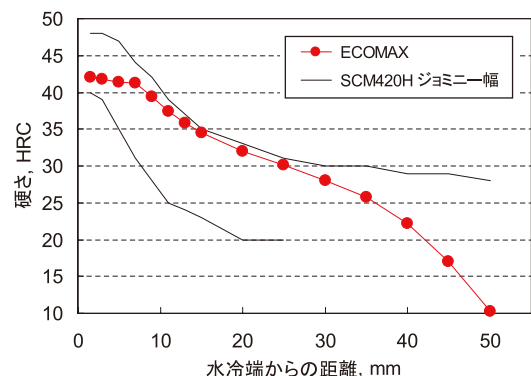


図1 ECOMAXのジョミニー曲線

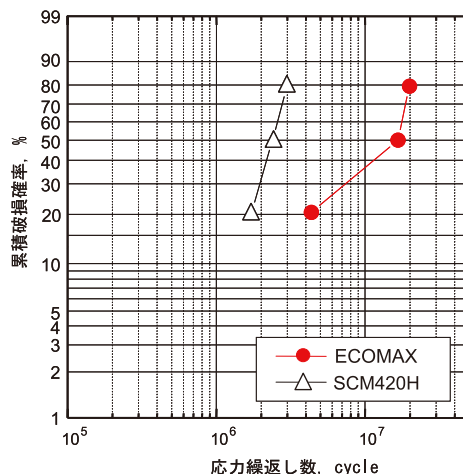
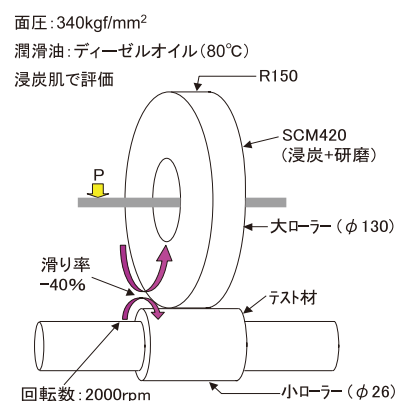


図2 ECOMAXとSCM420Hのローラーピッチング試験結果



2.2. 耐ピッチング特性

前述のようにギヤ用鋼に求められる特性の中で、歯面の耐ピッチング特性が重要視されている。ECOMAXの耐ピッチング特性をローラーピッチング試験でSCM420Hと比較した。試験片である小ローラーは試験片加工後に浸炭焼入焼戻しを行い、摺り部のみ仕上げ加工を施して試験に供した。ピッチング寿命は小ローラーの表面がはく離するまでの応力繰返し数にて評価した。図2に結果を示すように、ECOMAXはSCM420Hと比較して長寿命となっており、50%累積破損確率寿命はSCM420H対比で5倍以上に向上した。

寿命向上の理由として、ECOMAXはSi、Cr増量の効果によって焼戻軟化抵抗性がSCM420Hに対して優れることと、図3に示すように最表面の浸炭異常層（粒界酸化+不完全焼入組織）が浅く、且つ表面全体に均一に形成したことと軟質な浸炭異常層が早期に摩耗することにより、粒界酸化起点のき裂が抑制されるためであると推定している⁷⁾。

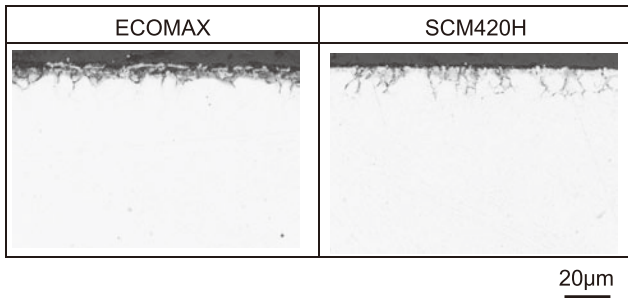


図3 ECOMAXとSCM420Hのガス浸炭後の浸炭異常層の光学顕微鏡観察結果

2.3. 低サイクル曲げ疲労特性ならびに衝撃特性

自動車の駆動系部品における小型・軽量化には耐ピッチング特性以外に低サイクル疲労特性や耐衝撃特性についても重視される。

図4にECOMAXと比較鋼であるSCM420Hの浸炭焼入焼戻し状態での4点曲げ疲労試験結果を示す。試験片にはVノッチを付与し、ノッチ面とその裏面のみ浸炭層を存在させ、各荷重において破断するまでのサイクル数を測定した。ECOMAXの低サイクル疲労強度はSCM420Hと比較して優れていることを確認した。破面を観察したところ、ECOMAXはSCM420Hと比べて粒界破面が減少していたことから、B添加の効果をはじめ本鋼の粒界強化作用が低サイクル疲労強度向上の一因になったと考えられる。

図5にECOMAXとSCM420Hの浸炭焼入焼戻し状態での旧オーステナイト粒径とシャルピー衝撃値の関係を示す。試験片は10RCノッチ試験片を用いて、ノッチ面のみ浸炭層を残して試験に供した。なお旧オーステナイト粒径の粗大化や微細化には焼入れ前の加熱処理や繰返し焼入れを行う方法を適宜選定した。旧オーステナイト粒径約10µm

で比較するとECOMAXの衝撃値はSCM420Hと比較して50%以上の向上が認められた。ECOMAXの破面観察を行ったところSCM420Hと比べて粒界破面が減少し、へき開破面が主体となっていたことから、低サイクル疲労特性と同様に本鋼の粒界強化作用によって耐衝撃特性が向上したものと考えられる。

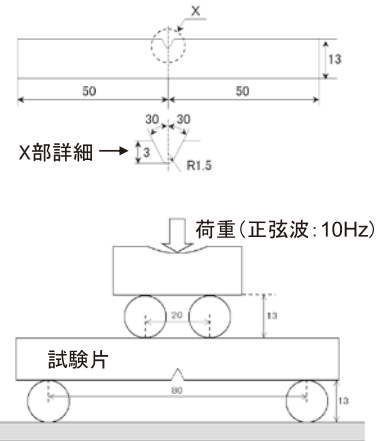
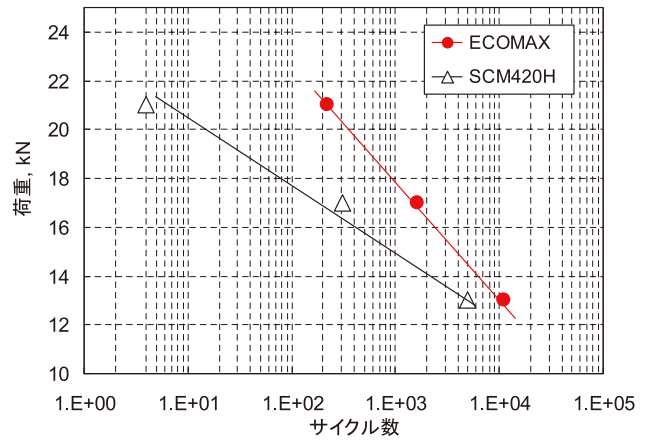


図4 ECOMAXとSCM420Hの低サイクル疲労試験結果

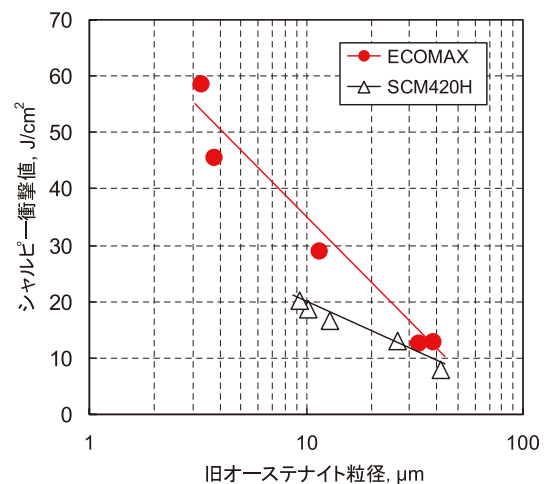


図5 ECOMAXとSCM420Hの旧オーステナイト粒径とシャルピー衝撃値との関係

2.4. 結晶粒度特性

冷間加工後に浸炭処理を施して部品を製造する場合、浸炭時に結晶粒が粗大化しやすくなる問題がある。結晶粒が粗大化すると部品強度の低下や熱処理ひずみの増加を引き起こすことから、浸炭時の結晶粒粗大化を抑制する必要がある。

表2に試験片を70%の冷間据込みを行い、その後、浸炭を模擬して900℃、925℃、950℃に加熱して3hr保持後に急冷し、結晶粒粗大化の有無を調査した結果を示す。SCM420Hは全ての温度で粗大粒が認められたのに対して、ECOMAXはNb添加によるピンニング効果をはじめとする粗大化抑制効果が顕著であり、950℃でも粗大粒は確認されなかった。

表2 ECOMAXとSCM420Hの70%冷間据込み後の結晶粒粗大化温度評価結果

	900℃	925℃	950℃
ECOMAX	○	○	○
SCM420H	×	×	×

○：粗大粒無し， ×：粗大粒有り

2.5. 焼なまし材の冷間加工性ならびに被削性

NiやMoを使用した従来型の高強度鋼は、一般的な規格鋼と比較して高強度化が実現出来ても、冷間加工性及び被削性は劣化する傾向にあり、部品製造時のコストアップを引き起こし易い。

図6にECOMAXとSCM420Hの球状化焼なまし状態での冷間加工性の評価結果を示す。試験片を冷間で据込み、各据込み率における変形抵抗を測定した。ECOMAXの球状化焼なまし材の硬さは約75HRBであり、同条件で処理したSCM420Hと比較して5HRB程度低く、全ての据込み率においてECOMAXの変形抵抗はSCM420Hと比較して低下している。

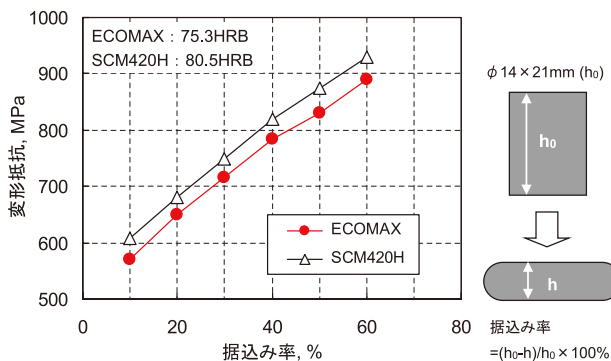


図6 ECOMAXとSCM420Hの球状化焼なまし材の冷間据込み率と変形抵抗との関係

ECOMAXとSCM420Hの球状化焼なまし材の旋削試験結果を図7に示す。試験は各旋削時間での超硬チップの逃

げ面摩耗量で評価した。ECOMAXを旋削した後のチップの摩耗量は同じ条件で処理したSCM420Hと比較して同等であった。

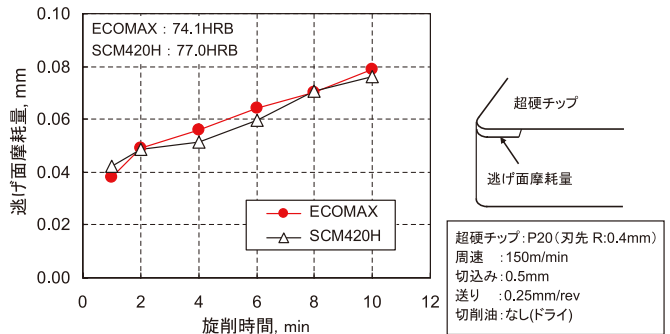


図7 ECOMAXとSCM420Hの球状化焼なまし材の旋削時間と逃げ面摩耗量との関係

3. おわりに

NiやMoの添加に頼らないECOMAXはSi、Mn、Cr等の成分バランスを追求したことで、耐ピッチング強度の他、低サイクル曲げ疲労強度、衝撃特性、結晶粒度特性に優れており、かつ加工性は同等もしくは優れる画期的な鋼である。ECOMAXを駆動系部品に適用することで、部品の高強度化や性能向上、トータルコストダウンの効果が期待できる。

今後も益々高度化するユーザーニーズに応えるべく、部品メーカーや自動車メーカーとの連携強化を図ることで、更なる高機能化やトータルコストダウンが可能な鋼材開発に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 中名悟, 後藤洋昭, 西川元裕, 常陰典正: 山陽特殊製鋼技報, Vol.19 (2012), 1, 38-45.
- 2) 中名悟, 常陰典正: 素形材, Vol.54 (2013), 7, 10-15.
- 3) 西川元裕: 熱処理, Vol.48 (2008), 3, 140-146.
- 4) 藤松威史, 橋本和弥: 山陽特殊製鋼技報, Vol.17 (2010), 1, 48-53.
- 5) 中村貞行, 秦野敦臣: 電気製鋼, Vol.67 (1996), 1, 4-11.
- 6) 田中高志: 山陽特殊製鋼技報, Vol.10 (2003), 1, 53-56.
- 7) 丸山貴史, 藤松威史, 常陰典正: CAMP-ISIJ, Vol.27 (2014), 1, 931.